



TITLE:

義肢とベルンシュタイン問題－行為における不自由と自由について－

AUTHOR(S):

渡邊, 一弘

---

CITATION:

渡邊, 一弘. 義肢とベルンシュタイン問題－行為における不自由と自由について－. 京都大学文学部哲学研究室紀要 2006, 9: 10-20

ISSUE DATE:

2006-12-10

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/24215>

RIGHT:

# 義肢とベルンシュタイン問題

## 行為における不自由と自由について

渡邊一弘

### 1. サイボーグとしての義肢・装具

「サイボーグ」ということばの名付け親であるマンフレッド・クラインズ博士の定義によれば、サイボーグとは「意識をせずとも完全な平衡調節系として働く、体外的に拡張された有機的複合体」であり、生物と生命のない装置との結合である(Halacy, 1965)。このことばに対してたとえば私だったら、サイエンス・フィクションに登場するものものしい機械人間のイメージをまず結びつける。ノーバート・ウィーナーによるサイバネティックス理論の応用としてこの「サイバネティック・オーガニズム」概念が構想され始めたのは、来たるべき高度科学技術時代に人類が想いを馳せていた、1960年代である。同時期のアポロ計画によって喚起されていた未知なる宇宙への想像力と同じ性質の夢と期待、そしてそれらと不可分の畏れのようなものが、このサイボーグということばには埋め込まれているのかもしれない。

しかしもちろん、人類は夢を語り続けてきただけではない。SF的な想像を牽引力としつつ、サイボーグは人類が抱える現実的問題を解決する技術として実現されてきた。そうしたもののひとつとして、義肢・装具の技術的改良を位置づけることができるだろう。本稿では義肢・装具と人間の行為とのかかわりを、「生物と生命のない装置の結合」たるサイボーグという観点から考察してみたい。

さて、ひとくちに義肢・装具といっても両者は明確に区別して定義される。義肢とは「四肢の物質的な欠損（切断）を代償するもの」を指すが、切断を代償するものであればすべてが義肢というわけではなく、さらに以下のような条件を満たさなければならない(川村・竹内, 1992)。まず義肢は断端（切断された手や足の残りの部分）に密着し、ヒトの四肢に近い外観をもつように作られたもののことをいう。それゆえ車いすは下肢切断者の歩行機能のある意味で代替するが、義肢とはよばない（車いすは装具に分類される）。また義肢は何種類かの機能をもち、日常生活のなかである程度連続して使用できるものでなければならない。それゆえ、完全に単一の目的にしか使えないものは義肢には分類されない<sup>1)</sup>。

いっぽう装具は、「四肢・体幹の機能障害の軽減を目的として使用する補助器具」とされる。対応外国語が「変形を真っ直ぐにする」という意味の *orthosis* であることからわかるように、装具の主目的は変形の予防や矯正、病的組織の保護、弱化した筋力や不安定な

間接の代償・補助にある。具体的には、脊髄障害による四肢麻痺や先天的・後天的な下肢の変形などに処方される下肢装具、脳性麻痺やポリオによって生じた側彎症などのための体幹装具(いわゆるコルセットも体幹装具に分類される)、手関節の弛緩性麻痺や関節リウマチに処方される上肢装具、また車いすなどがこれにあたる(川村・竹内, 1992)。

このように、義肢・装具には非常に多様な用途とそれに応じた種類があり、その開発や処方にあたっては医師・理学療法士・義肢装具士らによるきめ細かな対応が必要とされることは容易に想像がつく。また、義肢や装具の処方を「生物と生命のない装置の結合」とみたとき、装置の側の一方的な技術的改良は、そのままでは患者のユーティリティにつながらないこともこうした事情から明らかであろう。じっさい、義肢装具士である井ノ瀬秀行氏は、義足製作の現場において患者からの多様なニーズに目をむけることの重要性を強調している(井ノ瀬・佐々木, 1997)。

井ノ瀬氏は、義足製作の技術が各部品の構造や材料の点で非常に進歩してきていることをふまえたうえで、それでも実際の処方にあたっては患者の状況にあわせた細かな調整が必要であるという。わかりやすい例では、小児のばあい、最初は膝関節部分がロックされたシンプルなものを処方するという。義足が失われた足の代替である以上、健常な状態の機能を忠実に再現するものが最良のように思える。しかし小さい子どもは義足をコントロール能力が低いうえ、安定して立つことよりも前に歩きだそうという意識が先行するため、膝が折れる義足だと歩けないのだという。またお年寄りのばあいも配慮が必要である。足首から先のフットにあたる部品でサッチ足部とよばれるものがあるが、この種の新しく開発されたものに、エネルギー蓄積型足部がある。この足部の中には様々な素材が使われており、その素材の柔らかさや硬さを変えることで、装着者はジャンプしたり走ったりすることができる。しかしお年寄りが使うと、この反発力が逆に疲労の原因になることがあるので、場合によっては従来の全くしなりがないサッチを使うことがあるという。

こうした小児やお年寄りの患者に、一般の成人患者とは異なる特別の配慮が必要となることは自明のように思える。しかし成人のばあいであっても、義足の技術的向上がそのまま誰にでも歓迎されるわけではない。義足の技術的改良として顕著なのは、膝関節機構におけるコンピュータ制御の導入である。インテリジェントとよばれるこのコンピュータ膝関節は、装着者が歩行時に膝を曲げる筋力をセンサーで読みとって、ポンプの空気圧力を調整してくれる。それによって脚の振りだしがスムーズになり、歩行速度の調節も従来のものに比べてとても容易になる。ところがこのような先端技術も、万人にとって喜ばしいものではないという。

これは女性の方ですが、コンピュータの膝を一時使ってたんです。そうしたら勝手に動いてしまうからいやだと言うんです。「自分が動こうとすると、応えすぎちゃっていやだ。勝手に動くのではなくてもっとシンプルなのがいい」と言うんです。本当にシンプルな単軸の、簡単にぼーん、ぼーんと蹴るやつの方がいいと言うひともいますし。(井ノ瀬・佐々木, 1997, p. 166)

これはたしかに、たんなる個人の趣味嗜好の問題ともいえるだろう。しかしコンピュータの膝よりもシンプルなものを選ぶこの女性の嗜好には、なにかうなずける理由があるようにも思える。先ほどの小児のばあいは、コントロール能力が不十分であるという理由から、あえて運動の自由度を犠牲にして膝を固定した義足が用いられた。お年寄りのばあいも、足部の反発力を柔軟に受け入れ処理する能力の不足から、「しなり」という自由度を放棄した。コンピュータ内蔵の義足よりもシンプルなものを好む先の女性は、運動の自由度が低いものをみずから欲している。つまり義足は、運動の自由度が増せば増すほどよい、というわけではなさそうである。

そもそも義肢には、どんなに高機能のものであっても健常な状態の四肢がもつ柔軟さをもたせることは難しいだろう。なぜなら、外的に装着される義肢が多くの関節部位における自由度を獲得すればするほど、それらを統括して制御するための負担が増大するはずだからである。そうした制御負担をコンピュータに肩代わりさせることはできる。しかしそれは逆に、先の女性がコンピュータ膝関節に感じた「勝手に動いてしまう」「応えすぎてしまう」という違和感の原因ともなってしまうのである。もちろんこのことは、義肢装着者が行為においてつねに健常者よりも劣るということを意味しない。多少の違和感をもつ人がいることは事実でも、今日の高機能義足はきわめて自然な歩行を可能にするというし<sup>2</sup>、訓練によって驚くべき巧みさを身につける義肢装着者がいることは、とくに障害者スポーツの世界をみれば明らかである。

むしろ義肢装着者たちによる行為の巧みさは、義肢という機構がもつ制約を利用することによって実現されている。ある種の「不自由さ」によって行為の「自由」が可能になっているのである。そしてこのことは、人間一般の身体における運動制御についてもいえることなのだ。次章ではこの点を、掘り下げて考えてみることにしよう。

## 2. 行為に必要な「不自由さ」 ベルンシュタイン問題

骨格をからだの外側にもつ節足動物に対して、脊椎動物は筋肉の内側に骨格をもつことによって柔軟に動く身体を獲得した。しかしこのような身体の柔軟さは、むしろ制御の困

難さをも意味するはずである。さらに人間の手足は、他の脊椎動物のものに比べて関節の種類が多様で複雑である。この点もまた、運動制御の難しさを増している。身体の柔軟さや精巧な関節機構は、多様かつ自在な行為の「可能性」を生みだすが、いっぽうでそうした多様な可能性からある特定の行為を決定する段になると、非常な困難が生じてしまうのである。

それではじっさいのところ人間は、どのようにしてある特定の行為を実現しているのだろうか？こうした問題に取り組み、運動と行為にかかわる従来までの考え方に根本的な変更を迫ったのがロシアの生理学者ニコライ・A・ベルンシュタイン(1896~1968)である。それまで運動制御理論のスタンダードであったのは「鍵盤支配型運動制御モデル」とよばれるもので、そこでは脳中枢において予め確定的に計画された運動の命令が、個々の関節や筋と一対一に対応した運動野の「鍵盤」機構によって運動器に伝達されると考えられていた。彼はこうしたモデルが不可避免的に抱えることになる問題を定式化した。それを今日ではベルンシュタイン問題とよぶのである。

古典的モデルに対してベルンシュタインが指摘した問題点はいくつかあるが、ここではまず「自由度」の問題をみてみよう。「自由度」とは、制御のために決定しなくてはならない値のことであり、各部位が動くことのできる方向の数といえる<sup>3</sup>。いま腕の動きについて考えれば、関節は7の自由度をもつ(すなわち肩関節は3、肘関節は1、尺骨は1、手首は2方向に動くことができる)。体肢全体を考えると100以上の自由度がある。それゆえこうした「複雑な動作の要素一つ一つに注意を向け、個別に制御するとしたら、莫大な注意を配分しなければならなくなる」(Bernstein, 1996, p. 32, 邦訳, 32頁)と、ベルンシュタインは古典的モデルの非現実性を指摘するのである。これらの自由度は冗長であるうえ、筋の弾性特性によって事態はさらに複雑になる。人間の関節は拮抗筋と呼ばれる一対の筋によって動きが制御されている。筋は引く力によってそのような制御をおこなうが、この力は不安定で不正確である。なぜなら柔らかい筋の動きは多くの制御できない要因に左右されざるをえないからである。さらに、運動ニューロンとそれに支配される筋線維を運動ユニットというが、この自由度は腕全体で2600にのぼる。からだ全体についてその自由度と組み合わせを考えると、それは関節のばあいと比べようもないほど途方もない数にのぼるだろう。このように人間の身体には驚くべき自由度、柔軟さが存在し、運動器官はそのままでは御者のいない馬車のように、身体をとんでもない方向に引っ張っていつてしまうものなのである。

ベルンシュタインが古典的な中枢支配モデルに対して指摘した問題は、「自由度」にかかわるもののほかにも「文脈」と「単位」にかかわるものがある(安西, 1992, p. 604)。「文脈」

の問題とは、中枢から下される指令が、運動の遂行中にもつねに変化する環境のもとでは多義的にならざるをえないというものである。ある指令によって遂行される運動自体が周囲の環境に影響を与えてしまうこと、また運動はそのような環境の変化を考慮に入れなければ正確になされないことを考えれば、中枢によって予め定められたプログラムによって行為が一意的に決定されると想定するモデルの困難さがわかるであろう。また「単位」の問題とは、ある運動を実現する身体器官の組み合わせにかかわる問題である。古典モデルではある大きさの円を描くという動きを、使用する筋肉や関節の組み合わせによって同定しようとするが、実際には同じ組み合わせによって他にも様々な動きが可能である。運動を記述する際に単位とされるべきなのは、運動器の種類とその組み合わせではないのである。

このようにベルンシュタインの指摘をみてみると、運動制御にかんする問題の核心が浮かび上がってくる<sup>4</sup>。すなわち、ふつつ私たちが身体の運動を問題にするとき、いかにして「自由な(自在な)」運動を実現するかを考える。しかしそもそも運動には、どうしてもないほど莫大な「自由」がひそんでいるのだ。先の「自由度」の問題では、骨格 関節 筋肉という私たちの身体機構に内在する動きの冗長性、すなわち冗長自由度が古典的モデルの限界を示唆していた。それぞれの関節や運動ユニットを個々に制御することは莫大な計算を脳中枢に要求するが、それは不経済で、非現実的な想定のように思われるのだ。しかし、実のところ脳はこうした莫大な計算をこなせるとしたらどうだろう。仮にそうだとすると、「文脈」の問題が立ち上がる。脳中枢におけるプログラムと指令によって運動が決定されるとする古典モデルでは、身体の内外部は独立したものとみなされている。そして外部環境の変化は原理的に無限の多義性をもつ。それゆえ外部環境の変化を予め組み込んだプログラムを作ろうとすると、それは無限の可能性を考慮しなければならない。このことは端的に行為が決定不可能であることを意味し、脳がどれだけ膨大な計算をすることができたとしても克服できない困難となる。そして「単位」の問題も、関節や筋の組み合わせだけでは特定の行為を同定できないという決定不可能性の問題として考えることができる。

しかし、私たち人間は通常そのような決定不能におちいらず、まがりなりにも行為を達成している。そればかりか、きわめて巧みな動きをみせることも稀なことではない。では、古典的中枢支配モデルが間違っているとして、実際の人間(もちろん動物も)はどのようにして冗長な自由度や文脈の問題を克服しているのだろうか？すなわち、なにが運動器官を制御可能なシステムへと転換するのだろうか？こうした問いにベルンシュタインは答えようとするのである。

運動器官を制御可能なシステムにするための秘訣、それをベルンシュタインは「協応 (coordination)」とよぶ。協応とは、複数の独立な自由度がお互いを機能的に拘束し合い、ひとつの機能的な単位として結合することをいう。この状態にあるとき、それぞれの自由度はバラバラにではなく相互補完的に変動する。そのままでは莫大であった自由度が、協応によって制御可能な範囲にまで減少させられるのである。人間をふくめた動物にとってもっとも基本的なレベルの協応の例としてベルンシュタインが挙げるのは、スキージャンプ競技で選手の身体にみられる動きである (Bernstein, 1996, p. 115, 邦訳, 133 頁)。この競技をテレビ中継などで目にとると、選手は空中でピタッと姿勢を固定しているようにみえる。しかし滑空中のスキージャンパーの身体は、周囲の気流と平衡をたもつべく微妙にうごきつづけている。同様のことは、流れる水の中で静止しているようにもみえる魚にもいえる。このような微妙な動きは体幹と首の筋が受けもっているが、胴体から首にかけて存在する多くの自由度は、このときバラバラに変動しているのではない。それらはゆるやかな弾性をたもちつつ、全体がひとつの機能的単位として周囲の空気や水の変化に対応しているのである。

このような協応は、もちろん体肢を使った運動にもみてとれる。たとえば歩行。移動時に伸筋と屈筋は同時に共同して活動するが、ベルンシュタインはこうした多数の筋の共同を「シナジー」とよんだ (Bernstein, 1996, p. 123, 邦訳, 142 頁)。このときシナジーは大きな自由度を組織化してくれる。複数の自由度が同時並行で一挙に関与していても歩行が可能になるのは、それらがリズムを介して協応しているからである。さらに、テーブルの上から手でマッチを取り上げるというより高度な動作は、筋・関節のリンクによって担われるが、これも身体の各部分の協応によって可能になっている。古典モデルでは、ここで莫大な自由度の問題に陥ってしまうことはすでにふれたとおりである。また、マッチに到達するまでに腕が描きうる軌道は無数に存在する。こうした動作を人間がじっさいになしうるのは、あらゆる感覚器官が協応して正確で客体的な外部空間に関する知覚をもたらすからである (Bernstein, 1996, p. 133, 邦訳, 156 頁)。これは運動が、環境にかんする知覚データに予めもついたプログラムによって実行されるという意味ではない。それは古典モデル的な考え方であり、そこには文脈の問題がついてまわる。たんに運動が環境をふまえてなされるというのではなく、運動がその始まりから終わりにかけて環境によってつくられている、ということである。このような感覚器官をもちいた運動制御の原理、すなわち感覚調整の原理は、スキージャンパーの微細な動きや歩行にもはたらき、それらを実現させている。知覚をとおした環境との相互作用が各器官の協応をもたらし、運動が可能になる。そこではいわば、運動と行為にかかわる実在の環境が制約条件となることで、莫大な自由度

の問題が解決されている。すなわちベルンシュタインがおこなったのは、環境から独立した身体におこるものとして運動を記述するという考え方から、身体と環境のかかわりによって運動が作りだされるという考え方へのラディカルな転換である。

### 3. 義肢・装具によってもたらされる行為の「自由」

前章でみてきたのは、人間をふくめた動物一般において、ある種の「不自由さ」が運動や行為を可能にしているということだった。身体にはもともと制御不可能なほどの莫大な自由度が存在する。身体をとりまく環境もつねに変化し、多義的なものである。しかし両者が会うことで制約条件としての協応が生まれ、行為が実現する。それらは経験と記憶によって徐々に巧みさを獲得していくが、そうした経験や記憶による巧みさが発揮されるのは、環境という制約によってふたたび行為が実現するときなのである。

こうしたことをふまえて、ふたたび義肢と装具に目をむけてみよう。第一章の末尾すでに示唆されていたことだが、義肢や装具の装着者の行為にもある種の「不自由さ」がかかっている。四肢の切断や障害によって生活の様々な場面で不自由に遭遇せざるをえないかれらは、「生命のない装置」とみずからを結合することによって行為における自由をとりもどす。義足はそうした装置のひとつだが、義足は失われた（あるいは備えられていたはずの）生身の足に比べれば少ない自由度しかもたない、そのような意味で「不自由な」装置である。しかしだからといって、義足装着者が獲得した歩行を「不自由によって実現された自由」と単純にまとめて終われば、それは不謹慎をとおりこして邪悪ですらありうる。なぜならこのような物言いには、身体に障害をもつ人々に義肢の性能をふくめた現実生活上の不自由さを甘んじて受け入れさせようとする主張へと、容易にスライドさせられる危険性があるからだ。

それゆえ、これまでカギカッコつきで表記してきた「不自由さ」に、より適切な内実を与えるべくさらに考察をすすめてみよう。義肢や装具をめぐって、「不自由さ」はどのような意味で行為の「自由」と結びつくのだろうか？

「不自由さ」ということばに付随する「拘束」や「束縛」というイメージと視覚的に結びつきやすいのは、義肢よりもまず装具であろう。おもな装具は、プラスチックなどで対象部位を外側から固定するものである。装具の歴史はとても古く、紀元前 3000～2500 年に書かれたパピルスの外科書にも骨折治療用の副子の使用法が述べられているが(川村・竹内, 1992)、中世にはいい武器鍛冶の技術が進歩したヨーロッパでは、本格的な装具が作られはじめる。図 1 は<sup>5</sup>一見すると中世の拷問拘束具のような印象をうけるが、ファブリクス・アプ・アクアペンデンテ・ヒエノニムス(1537-1619)が『オプロモクリオン』のなかで述べて



いる、万能装具である。また装具を意味するorthosisが「変形を真っ直ぐにする」という意であることはすでに述べたが、「整形外科学(orthopedics)」ということばのもととなったのはニコラス・アンドリー(1658-1742)の著書『オルトペディア』である。図2は<sup>6</sup>「オルトペディア、すなわち小児期においての身体の変形を予防し、また矯正する術、父母とこれから育つ小児をもっているすべての人の座右に」という副題がつけられたこの書に画かれているもので、整形外科のシンボルとされている。

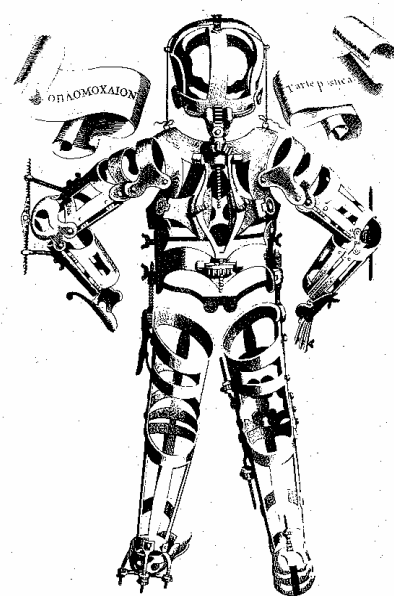


図 1

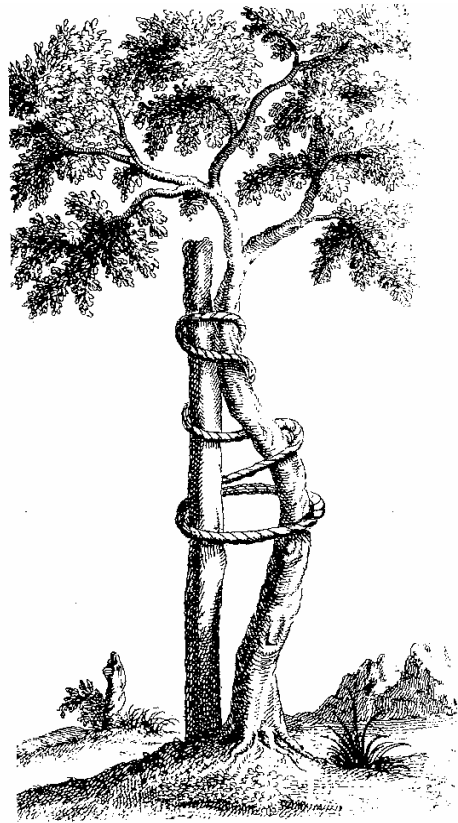


図 2

もっとも、このようにして装具と「不自由さ」を視覚イメージによって結びつけることに首をかしげる人がいるかもしれない。たしかに、装具は身体にある種の拘束をくわえることによって身体諸症状の改善をもたらすものであり、「不自由さ」によって行為の「自由」に資するといえなくもない。けれども装具は身体の変形を予防・矯正するためのものであり、前章でみてきた「莫大な自由度を減少させることで運動が可能になる」ということと

は関係がないのではないか。しかし、装具はまさしく前章で述べてきた意味において、行為に自由をもたらすのである。スキージャンパーや歩行、テーブルの上からマッチ箱を取り上げる例で示したことを思い起こしてほしい。莫大な自由度を減少させ、運動を可能にさせる「協応」は、身体の各器官が相互補完的に連携することで生みだされていた。歩行には下肢だけが関与しているわけではないのである。足部の小さな変形であっても場合により歩行に重大な影響をおよぼすことがあるのは、それが身体全体におよんでいる協応構造を崩してしまうからである。装具は身体の局所的な変形を矯正することにより、身体全体の協応構造を回復し、運動に自由をもたらすのだ。

この点を義肢との関連で確認してみよう。先述の井ノ瀬氏によれば、義足は装着者の状況や訓練段階に応じて徐々に作り上げていくものであるという。義足が機能を十分に発揮できるような、ソケットや足部などの相対的位置をアライメントというが、このアライメントの調整にも作業台上での調整（ベンチアライメント）、義足を切断者に装着して立ってもらった状態でおこなう調整（スタティックアライメント）、歩行してもらいながらの調整（ダイナミックアライメント）と身体のいろいろな状態に即してなされる。人間の運動には身体全体の協応構造がかかわっているため、各段階で装着者の動き全体をみながら作成していくのである。

このように考えてみると、義肢や装具をめぐる「不自由」と「自由」の関係もだんだん明らかになってくる。四肢の切断や変形によって失われるのは、からだ全体にわたる協応構造である。協応という身体の各器官における「制約関係」が、莫大な自由度を減少させ、運動を可能にするのであった。外見上、義肢は身体に局所的に結合された「生命のない装置」であるが、それは実のところ身体全体の動きをマッチングし、運動に自由をよびもどしているのだ。生身の脚に比べれば単純な機構しかもたない義足によって、激しいスポーツが可能になることもある。また、高機能の義足よりシンプルな義足が好まれることもある。そうした事実は、運動にとってなにより大事なのがからだ全体の協調であり、局所的な部位の自由度は、場合によっては邪魔にさえなるということを示しているといえよう。

#### 4. 行為は環境の方へ リハビリテーション

さて最後に、2章で強調しておいたもうひとつの点、すなわち運動が環境とのかかわりからつくりだされるということが、義肢や装具の問題にどのような含意をもつかについてふれておきたい。とはいっても、運動制御の理論的研究において大きな問題点となっていた運動と環境とのかかわりは、義肢や装具の現場においてはむしろほとんど自明のことと

もいえる。義肢装具の処方において環境という契機が浮かび上がるのは、リハビリテーションの場においてである。義肢製作時の微調整とならんで、このリハビリテーションこそが運動に自由をよびもどすのだ。下肢切断の場合<sup>7</sup>、リハビリは義足装着前にすでにおこなわれる。義足がないのに何をどう訓練するのかと思うかもしれないが、術後早期の両上肢ならびに健康な側の下肢の筋力を強化しておくことは非常に重要なのである(川村・竹内, 1992)。装着後も平行棒内での足踏み訓練、歩行訓練、平行棒外での支持なし歩行訓練、床からの立ち上がり訓練、階段・斜面の昇降訓練、不整地での歩行練習、エスカレーターの乗降訓練など、様々な環境に即して段階的に訓練をかさねていく。とりわけ注目すべきなのは、やはり上肢や健足側の筋力訓練であろう。本稿ではこれまで、運動がからだ全体の協応によって可能になるということ、また義肢が身体各部分における動きをマッチングすることで運動の自由をよびもどしていたのを見てきた。リハビリテーションにおいて切断部以外の訓練が重要であるという事実は、運動にかんするそうした見方が正しかったことを確認させてくれる。

義肢はたしかに「生命のない装置」ではあるが、切断者たちの身体はこの装置をとおして環境と再会する。リハビリテーションすなわち回復の過程とは、人と義肢、そして環境ができるかぎり「意識せずとも平衡調節系として働く」ようにするための道のりである。そうした営みは、切断者がサイボーグになるというよりも、むしろ義肢に血が通いはじめると表現するのがふさわしいように私には思われる。

---

#### 註

<sup>1</sup> もっとも、農耕や土木など特定の作業に適する構造をもち、自助具的に使用される作業義手というものがある。これは手先部分をその仕事に応じた適切な作業道具(金槌やカマなど)に交換・固定して使用する。

<sup>2</sup> 現在市販されているコンピュータ内蔵型の高機能義足の実例として、オットーボック社の「C-Leg」を挙げることができる。オットーボックジャパン株式会社URL: <http://www.ottobock.co.jp>

<sup>3</sup> Bernstein (1996)の訳者である工藤和俊氏による「自由度」の正確な定義と説明は以下のとおり。

「あるシステムの状態を決定づける変数の中で、互いに独立に変化し得る変数の数を自由度という。身体には数多くの解剖学的/生理学的自由度が存在するため、これら多数の自由度を同時に制御しようとする際に「膨大な自由度の問題」が生じる。また、系を定義する状態変数の数よりも制御可能な変数の方が多い場合には、課題解決に必要な制御変数を一意に決定する方法は原理的に存在しない。この問題を「冗長な自由度の問題」という」(工藤訳, 2003, p. 310)

<sup>4</sup> ここで挙げられているベルンシュタイン問題が、人工知能におけるフレーム問題と本質的に類似していることには多くの人が気づくであろう。

<sup>5</sup> 武智(1995, 59頁)より転載。

<sup>6</sup> 武智(1995, 73頁)より転載。なお、本稿における図の引用は「報道、批評、研究その他の引用の目的上正

当な範囲」であり、慣例に従い、著者および出版社の許諾を得ていない。

7 本稿では義足および下肢装具の例ばかりに記述がかたよってしまったが、ひとくちに義肢といっても義手と義足ではおおきく事情が異なり、それによって注目すべき問題も変わってくる。具体的には、手は足に比べて運動器としても感覚器としても高度な機能性をもつ。さらに近年著しく進歩している筋電義手は、義足におけるコンピュータの導入とはまた次元の違う含意を行為の問題にもたらすようにおもえる。しかし本稿では、生体に外的な装置としての義肢と人間の行為との関係を大きく見定めることに論旨を絞った。上肢の運動や筋電義手の発達をも含めた考察には他日を期したい。なお、進化型チップを内蔵した最新の筋電義手の内容については、梶谷勇他「障害者に適応可能な筋電操作型義手の開発」を参照のこと。

産業技術研究所次世代半導体研究センター回路システム技術グループのウェブサイト

(URL: <http://unit.aist.go.jp/asrc/asrc-5/index.html>)からダウンロードできる。

## 文献

安西祐一郎他編 (1992). 『認知科学ハンドブック』, 共立出版.

Bernstein, N. A. (1996). *On Dexterity and its Development*, Lawrence Eelbaum Associates. (2003, 工藤和俊訳, 佐々木正人監訳, 『デクステリティ 巧みさとその発達』, 金子書房.)

Halacy, D. S. (1965). *Cyborg: Evolution of the Superman*, Harper & Row. (1968, 桜井靖久訳, 『サイボーグ 未来をつくる科学』, 白揚社.)

井ノ瀬秀行・佐々木正人 (1997). 「義足の生 義肢製作の現場から」, 『現代思想』, 25-12, 154-169.

川人光男他編 (1994). 『岩波講座 認知科学 4 運動』, 岩波書店.

川村次郎・竹内孝仁編 (1992). 『義肢装具学』, 医学出版.

佐々木正人 (2005). 『ダーウィンの方法 運動からアフォーダンスへ』, 岩波書店.

佐々木正人・伊藤一之 (2006). 「アフォーダンス入門 - 若きロボット研究者との Q&A - 」, 日本ロボット学会誌, 24-7, 776-782.

武智秀夫 (1995). 『義肢装具とリハビリテーションの思想』, 社会福祉法人「新樹会」創造出版.

〔哲学修士課程〕